

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

## Schottky diode with semiconductor substrate of first doping type esp. for signal processing

Patent Number: DE19705728  
Publication date: 1998-08-20  
Inventor(s): IGEL GUENTER DIPL ING (DE)  
Applicant(s): ITT MFG ENTERPRISES INC (US)  
Requested Patent:  DE19705728  
Application Number: DE19971005728 19970214  
Priority Number(s): DE19971005728 19970214  
IPC Classification: H01L29/872; H01L21/329  
EC Classification: H01L21/329B6, H01L29/872  
Equivalents:

### Abstract

The diode has its substrate (1) of the first doping type of first doping density ( $n_1$ ) locating an epitaxial layer (2) of the same doping type but a lower, second doping density ( $n_2$ ), on which is deposited an insulating film (3) with an aperture (4). At least part of the insulating film and epitaxial layer under the aperture are covered by a Schottky metal film (5). In the epitaxial layer, an annular semiconductor region (6) of a second doping type with a third doping density ( $n_3$ ), higher than the second one, is formed adjacent to the insulating film and the metal film. In the epitaxial layer a first type doping region (7) with a fourth doping density ( $n_4$ ), is located adjacent to the Schottky metal film, with second doping density lower than the fourth one.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑩ Patentschrift  
DE 197 05 728 C 2

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 L 29/872  
H 01 L 21/329

⑦ Aktenzeichen: 197 05 728.4-33  
② Anmeldetag: 14. 2. 97  
④ Offenlegungstag: 20. 8. 98  
④5 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 21. 1. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑬ Patentinhaber:  
General Semiconductor Ireland, Macroom, County  
Cork, IE

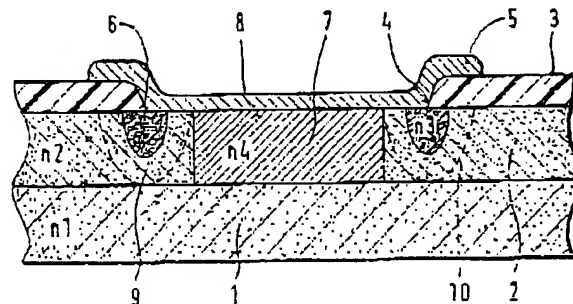
⑭ Vertreter:  
Ackmann und Kollegen, 80469 München

⑦2 Erfinder:  
Igel, Günter, Dipl.-Ing., 79331 Teningen, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
JP 07263716 A - in: Patent Abstracts of Japan,  
1995;

⑤4 Schottky-Diode und Verfahren zu deren Herstellung

⑤7 Schottky-Diode mit einem Halbleitersubstrat (1) eines ersten Dotierungstyps mit einer ersten Dotierungsdichte  $n_1$ , auf dem eine Epitaxieschicht (2) vom gleichen Dotierungstyp mit einer zweiten, kleineren Dotierungsdichte  $n_2$  aufgebracht ist, auf welcher eine Isolatorschicht (3) mit einer Öffnung (4) vorgesehen ist, und mit einer wenigstens einen Teil der Isolatorschicht (3) und die unter der Öffnung (4) liegende Epitaxieschicht (2) bedeckenden Schottky-Metallschicht (5), wobei in der Epitaxieschicht (2) ein ringförmiger Halbleiterbereich (6) eines zweiten Dotierungstyps mit einer dritten Dotierungskonzentration  $n_3$ , die höher als die zweite Dotierungskonzentration  $n_2$  ist, vorgesehen ist, welcher an die Isolatorschicht (3) und die Schottky-Metallschicht (5) in einem den Metall-Isolatorübergang umgebenden Bereich angrenzt, dadurch gekennzeichnet, daß ein Dotierungsbereich (7) vom ersten Dotierungstyp mit einer vierten Dotierungsdichte  $n_4$  in der Epitaxieschicht (2) vorgesehen ist, der an die Schottky-Metallschicht (5) angrenzt, wobei die zweite Dotierungsdichte  $n_2$  kleiner als die vierte Dotierungsdichte  $n_4$  ist.



DE 197 05 728 C 2

DE 197 05 728 C 2

DE 197 05 728 C 2

1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Schottky-Diode der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 angegebenen Art. Außerdem betrifft die Erfindung ein zugehöriges Verfahren der im Oberbegriff des Patentanspruchs 6 angegebenen Art.

Eine derartige Diode ist beispielsweise aus dem Buch "Signalverarbeitende Dioden", G. Kessel, J. Hammerschmitt, E. Lange, Springer Verlag, 1982, S. 179 ff. bekannt. Sie wird auch Schottky-Hybrid-Diode genannt. Sie unterscheidet sich von einer gewöhnlichen Schottky-Diode dadurch, daß der ringförmige Halbleiterbereich des zweiten Dotierungstyps, auch Guard-Ring genannt, vorgesehen ist. Dieser Guard-Ring bewirkt, daß die Sperrspannung, die bei einer normalen Schottky-Diode niedrig ist, gegenüber dieser wesentlich erhöht wird. Das Spannungsdurchbruchverhalten wird somit gegenüber der gewöhnlichen Schottky-Diode wesentlich verbessert. Dieser Effekt kommt dadurch zustande, daß das Randfeld der Metallelektrode, d. h. der Schottky-Metallschicht dadurch reduziert wird, daß es zumindest teilweise in dem ringförmigen Halbleiterbereich des zweiten Dotierungstyps mit der dritten Dotierungskonzentration endet.

Aufgrund des Übergangs zwischen der Epitaxieschicht vom ersten Dotierungstyp und dem Guard-Ring vom zweiten Dotierungstyp entsteht eine pn-Diode. Die Abbruchspannung bei einer solchen herkömmlichen pn-Diode ist niedriger als die Abbruchspannung der aufgrund des Metall-Halbleiterübergangs gebildeten Schottky-Diode, so daß die Abbruchspannung der Schottky-Hybrid-Diode durch die Abbruchspannung der pn-Diode bestimmt wird. Die Abbruchspannung der pn-Diode wird durch die Dotierung und durch die Dicke der Epitaxieschicht festgelegt, da dadurch die Ausbreitung der Raumladungszone bis zum Substrat beeinflusst wird. Eine höhere Abbruchspannung wird durch eine geringere Dotierung und durch eine dickere Epitaxieschicht erreicht.

Nachteilig an einer solchen Schottky-Hybrid-Diode ist, daß die Abbruchspannung der durch den Übergang zwischen der Schottky-Metallschicht und der Epitaxieschicht gebildeten Schottky-Diode größer ist als die Abbruchspannung der pn-Diode, wodurch eine hohe Flußspannung entsteht, so daß ein im Vergleich zu der Abbruchspannung schlechtes Flußverhalten der Schottky-Diode in Kauf genommen werden muß.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, eine Schottky-Diode der eingangs genannten Art derart zu verbessern, daß ein besseres Flußverhalten der Schottky-Diode erzielt wird, und ein zugehöriges Verfahren zur Herstellung einer solchen verbesserten Schottky-Diode anzugeben.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß durch eine Schottky-Diode gemäß dem Anspruch 1 und durch ein zugehöriges Verfahren mit den in Anspruch 6 angegebenen Merkmalen bzw. Schritten gelöst.

Aufgrund des erfindungsgemäß in die Epitaxieschicht eingebrachten Dotierungsbereiches wird die Abbruchspannung der aus dem Übergang zwischen der Schottky-Metallschicht und der Epitaxieschicht gebildeten Schottky-Diode erniedrigt, ohne daß die Abbruchspannung der Schottky-Hybrid-Diode insgesamt erniedrigt wird. Gleichzeitig wird die Flußspannung herabgesetzt, so daß die Schottky-Hybrid-Diode insgesamt ein deutlich besseres Flußverhalten aufweist.

Es ist zwar an sich bekannt (JP 07 26 37 16 A - in: Patent Abstracts of Japan 1995), ein besseres Flußverhalten bei einer Schottky-Diode dadurch zu erzielen, daß angrenzend an die Schottky-Metallschicht ein Dotierungsbereich vom gleichen Dotierungstyp wie das Substrat vorgesehen ist, jedoch nicht im Zusammenhang mit einer Schottky-Hybrid-Diode

2

der hier in Rede stehenden Art.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Unteransprüchen offenbart.

Gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird die vierte Dotierungsdichte  $n_4$  kleiner als die erste Dotierungsdichte  $n_1$  gewählt. Dadurch wird der Bahnwiderstand durch das Substrat verkleinert.

Günstigerweise wird die vierte Dotierungsdichte  $n_4$  so gewählt, daß die Abbruchspannung des Metallhalbleiterübergangs der Abbruchspannung der aufgrund des ringförmigen Halbleiterbereichs und der Epitaxieschicht gebildeten pn-Diode entspricht. Hierdurch entsteht die bei dieser Methode beste zu erzielende Flußspannung, ohne daß die Abbruchspannung erniedrigt wird.

Der Dotierungsbereich kann sich zweckmäßigerweise zwischen dem den ringförmigen Halbleiterbereich umgebenden Raumladungszonengebiet, d. h. innerhalb des den ringförmigen Halbleiterbereich umgebenden Raumladungszonengebietes, erstrecken. Das Raumladungszonengebiet ist das Gebiet, in dem sich die Raumladungszone der pn-Diode, d. h. von dem ringförmigen Halbleiterbereich in der Epitaxieschicht bis zu dem Substrat, ausbreitet. Somit ist das Raumladungszonengebiet wiederum ringförmig. Eine hohe Wirkung wird erzielt, wenn der Dotierungsbereich das Raumladungszonengebiet nicht schneidet, aber die gesamte Fläche im Inneren des ringförmigen Raumladungszonengebietes ausfüllt. Günstigerweise erstreckt sich der Dotierungsbereich über der gesamten Tiefe der Epitaxieschicht, wodurch die Flußspannung weiter reduziert wird.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Figur näher erläutert.

Die Figur zeigt einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Schottky-Diode.

Auf einem Halbleitersubstrat 1 eines ersten Dotierungstyps mit einer ersten Dotierungsdichte  $n_1$  ist eine Epitaxieschicht 2 vom gleichen Dotierungstyp mit einer zweiten, kleineren Dotierungsdichte  $n_2$  aufgebracht. Auf der Epitaxieschicht 2 ist eine Isolatorschicht 3 mit einer Öffnung 4 vorgesehen. Eine Schottky-Metallschicht 5 bedeckt einen Teil der Isolatorschicht und die unter der Öffnung 4 liegende Epitaxieschicht 2. Ein ringförmiger Halbleiterbereich 6, ein Guard-Ring, eines zweiten Dotierungstyps mit einer dritten Dotierungsdichte  $n_3$ , die höher als die zweite Dotierungsdichte  $n_2$  ist, ist in der Epitaxieschicht 2 derart vorgesehen, daß er an die Isolatorschicht 3 und die Schottky-Metallschicht 5 in einem den Metallisolatorübergang umgebenden Bereich angrenzt. In der Epitaxieschicht 2 ist ein Dotierungsbereich 7 vom ersten Dotierungstyp mit einer vierten Dotierungsdichte  $n_4$  eingebracht, der an die Schottky-Metallschicht 5 angrenzt. Die vierte Dotierungsdichte  $n_4$  ist größer als die zweite Dotierungsdichte  $n_2$  der Epitaxieschicht 2 gewählt. In der vorgegebenen Anordnung können beispielsweise das Halbleitersubstrat 1, die Epitaxieschicht 2 und der Dotierungsbereich 7 aus n-leitendem Silizium und der ringförmige Halbleiterbereich 6 aus p-leitendem Silizium gebildet sein.

Die erfindungsgemäße Schottky-Diode ist eine Schottky-Hybrid-Diode, da sie einen Guard-Ring, den ringförmigen Halbleiterbereich 6, aufweist. Die elektrischen Anschlüsse werden an der Schottky-Metallschicht 5 und an der Rückseite des Halbleitersubstrats 1 angebracht. Die erfindungsgemäße Schottky-Hybrid-Diode umfaßt eine Schottky-Diode, die durch die Schottky-Metallschicht 5 und die Epitaxieschicht 2 bzw. den Dotierungsbereich 7 gebildet wird und eine pn-Diode, die durch den ringförmigen Halbleiterbereich 6 und die Epitaxieschicht 2 gebildet wird. Der Guard-Ring bewirkt, daß die Schottky-Diode eine hohe Sperrspannung aufweist. Das Flußverhalten der Schottky-Diode wird

DE 197 05 728 C 2

3

4

durch ihre Abbruchspannung begrenzt. Die Abbruchspannung wird durch die Ausbreitung der Raumladungszone aufgrund einer angelegten Spannung bestimmt, da die Raumladungszone sich innerhalb der Epitaxieschicht 2 nur so lange ausbreiten kann, bis sie auf die durch das Halbleitersubstrat 1 gebildete Grenzschicht trifft. Die Abbruchspannung kann durch eine geringere Dotierung und durch eine größere Dicke der Epitaxieschicht 2 erhöht werden. In einem ersten Bereich 8 kommt eine erste Abbruchspannung zustande, die durch den Übergang zwischen der durch die Schottky-Metallschicht 5 und die Epitaxieschicht 2 gebildete Schottky-Diode zustande kommt. In einem zweiten Bereich 9 entsteht eine zweite Abbruchspannung, die aufgrund der durch den ringförmigen Halbleiterbereich 6 und die Epitaxieschicht 2 gebildeten pn-Diode zustandekommt. Die Abbruchspannung der Gesamtdiode wird durch die niedrigere der beiden Abbruchspannungen festgelegt. Es ist eine Raumladungszone 10 eingezeichnet, die sich ausgehend von der pn-Diode aufgrund des ringförmigen Halbleiterbereichs 6 ausbreitet, bis sie an die durch das Halbleitersubstrat 1 mit der Epitaxieschicht 2 gebildete Grenzschicht anstößt. Die Größe des Dotierungsbereichs 7 ist so gewählt, daß er die Ausbreitung der Raumladungszone 10 nicht behindert. Da die vierte Dotierungsdichte n4 des Dotierungsbereichs größer ist als die zweite Dotierungsdichte n2 der Epitaxieschicht 2 wird der Unterschied von der ersten Abbruchspannung in dem ersten Bereich 8 und der zweiten Abbruchspannung im zweiten Bereich 9 verringert. Die vierte Dotierungsdichte n4 kann so hoch gewählt werden, daß die erste Abbruchspannung gleich der zweiten Abbruchspannung ist. Dadurch wird der Bahnwiderstand in der Epitaxieschicht 2, d. h. in dem Dotierungsbereich 7 erniedrigt, so daß die Flußspannung wesentlich herabgesetzt und damit ein deutlich besseres Flußverhalten der Gesamtdiode bei einer durch die pn-Diode vorgegebenen zweiten Abbruchspannung erzielt wird.

Die Dimensionierung der Schottky-Hybrid-Diode gemäß der Erfindung ist so gewählt, daß die Breite des mittels der Schottky-Metallschicht 5 gebildeten Metall-Halbleiterübergangs größer ist als der Durchmesser der Raumladungszone 10, wobei dieser durch die Dicke der Epitaxieschicht bestimmt wird.

Im folgenden wird ein zur Diode zugehöriges Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen einer Schottky-Diode anhand der Figur beschrieben. Auf einem Halbleitersubstrat 1 wird eine Epitaxieschicht 2 erzeugt. Mittels dem Fachmann bekannter Techniken zur Maskierung, Ionenimplantation und Temperaturbehandlung werden der ringförmige Halbleiterbereich 6 mit der dritten Dotierungsdichte n3 und der Dotierungsbereich 7 mit der vierten Dotierungsdichte n4 erzeugt. Dann wird ebenfalls mit bekannten Maskierungstechniken die Isolatorschicht 3 mit der Öffnung 4 auf die Epitaxieschicht 2 aufgebracht, wodurch der Dotierungsbereich 7 und ein Teil des Querschnitts des ringförmigen Halbleiterbereichs 6 freigelegt werden. Dann wird die Schottky-Metallschicht 5 so aufgebracht, daß ein Teil der Isolatorschicht 3 und die aufgrund der Öffnung 4 freigelegte Oberfläche der Epitaxieschicht 2 bedeckt wird. Die Schottky-Metallschicht 5 und die Rückseite des Halbleitersubstrats 1 werden zum Anlegen einer elektrischen Spannung kontaktiert. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind das Halbleitersubstrat 1, die Epitaxieschicht 2 und der Dotierungsbereich 7 n-dotiert und der ringförmige Halbleiterbereich 6 p-dotiert. Dabei ist die vierte Dotierungsdichte n4 höher als die zweite Dotierungsdichte n2, die dritte Dotierungsdichte n3 höher als die vierte Dotierungsdichte n4 und die erste Dotierungsdichte n1 höher als die dritte Dotierungsdichte n3.

#### Patentansprüche

1. Schottky-Diode mit einem Halbleitersubstrat (1) eines ersten Dotierungstyps mit einer ersten Dotierungsdichte n1, auf dem eine Epitaxieschicht (2) vom gleichen Dotierungstyp mit einer zweiten, kleineren Dotierungsdichte n2 aufgebracht ist, auf welcher eine Isolatorschicht (3) mit einer Öffnung (4) vorgesehen ist, und mit einer wenigstens einen Teil der Isolatorschicht (3) und die unter der Öffnung (4) liegende Epitaxieschicht (2) bedeckenden Schottky-Metallschicht (5), wobei in der Epitaxieschicht (2) ein ringförmiger Halbleiterbereich (6) eines zweiten Dotierungstyps mit einer dritten Dotierungskonzentration n3, die höher als die zweite Dotierungskonzentration n2 ist, vorgesehen ist, welcher an die Isolatorschicht (3) und die Schottky-Metallschicht (5) in einem den Metall-Isolatorübergang umgebenden Bereich angrenzt, dadurch gekennzeichnet, daß ein Dotierungsbereich (7) vom ersten Dotierungstyp mit einer vierten Dotierungsdichte n4 in der Epitaxieschicht (2) vorgesehen ist, der an die Schottky-Metallschicht (5) angrenzt, wobei die zweite Dotierungsdichte n2 kleiner als die vierte Dotierungsdichte n4 ist.
2. Schottky-Diode nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die vierte Dotierungsdichte n4 kleiner als die erste Dotierungsdichte n1 ist.
3. Schottky-Diode nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die vierte Dotierungsdichte n4 so gewählt ist, daß die Abbruchspannung des Metall-Halbleiterübergangs der Abbruchspannung der aufgrund des ringförmigen Halbleiterbereichs (6) und der Epitaxieschicht (2) gebildeten pn-Diode entspricht.
4. Schottky-Diode nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Dotierungsbereich (7) innerhalb des den ringförmigen Halbleiterbereich (6) umgebenden Raumladungszonengebietes (10) erstreckt.
5. Schottky-Diode nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich der Dotierungsbereich (7) über die gesamte Tiefe der Epitaxieschicht (2) erstreckt.
6. Verfahren zum Herstellen einer Schottky-Diode gemäß Anspruch 1, bei dem
  - in einem Schritt a) auf einem Halbleitersubstrat (1) eines ersten Dotierungstyps mit einer ersten Dotierungsdichte n1 eine Epitaxieschicht (2) vom gleichen Dotierungstyp mit einer zweiten, kleineren Dotierungsdichte n2 aufgebracht wird,
  - in einem Schritt b) in die Epitaxieschicht (2) ein ringförmiger Halbleiterbereich (6) eines zweiten Dotierungstyps mit einer dritten Dotierungskonzentration n3, die höher als die zweite Dotierungskonzentration n2 ist, eingebracht wird,
  - in einem Schritt c) eine Isolatorschicht (3) mit einer Öffnung (4) auf der Epitaxieschicht (2) ausgebildet wird, und
  - in einem Schritt d) eine Schottky-Metallschicht (5) auf wenigstens einen Teil der Isolatorschicht (3) und auf das unter der Öffnung (4) liegende Halbleitersubstrat (1) aufgebracht wird, so daß der Halbleiterbereich (6) an die Isolatorschicht (3) und die Schottky-Metallschicht (5) in einem den Metall-Isolator-Übergang umgebenden Bereich angrenzt,
  - dadurch gekennzeichnet, daß zwischen den Schritten b) und c) ein Dotierungsbereich (7) vom ersten Dotierungstyp mit einer vierten Dotierungsdichte n4 in die Epitaxieschicht (2) so einge-

DE 197 05 728 C 2

5

6

bracht wird, daß er an die Schottky-Metallschicht (5) angrenzt, wobei die vierte Dotierungsdichte  $n_4$  größer als die zweite Dotierungsdichte  $n_2$  gewählt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die vierte Dotierungsdichte  $n_4$  kleiner als die erste Dotierungsdichte  $n_1$  gewählt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die vierte Dotierungsdichte  $n_4$  so gewählt wird, daß die Abbruchspannung des Metall-Halbleiterübergangs der Abbruchspannung der aufgrund des ringförmigen Halbleiterbereichs (6) und der Epitaxialschicht (2) gebildeten pn-Diode entspricht.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Dotierungsbereich (7) so ausgebildet wird, daß er sich innerhalb des den ringförmigen Halbleiterbereich (6) umgebenden Raumladungszonengebietes (10) erstreckt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Dotierungsbereich (7) so ausgebildet wird, daß er sich über die gesamte Tiefe der Epitaxialschicht (2) erstreckt.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

ANUNGEN SEITE :

Nummer:

DE 197 DE 728 G2

Int. Cl.<sup>8</sup>:

H 01 L 29/872

Veröffentlichungstag:

21. Januar 1999

